

OFDM系统中降低峰均比方法研究

张洪波, 陈卫兵, 邹豪杰, 曾光华, 郭德彪, 王金燕

(湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 针对OFDM系统中存在高峰值平均功率比(PAPR)影响系统性能, 而传统的选择性映射(SLM)解决方法具有高复杂度且不能完全避免系统中高峰值信号出现的缺点, 在研究映射和限幅算法的基础上, 提出了一种SLM-C联合算法, 该算法利用选择性映射方法和限幅方法在性能上互补的特性来降低PAPR。Matlab仿真结果表明, 该联合算法有效地降低了OFDM系统的峰均比, 且具有复杂度低, 易实现等优点。

关键词: 正交频分复用; 选择性映射; 峰均比; 互补累积分布函数

中图分类号: TN914.51

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2011)05-0033-04

Research on PAPR Reduction Techniques for OFDM System

Zhang Hongbo, Chen Weibing, Zou Haojie, Zeng Guanghua, Guo Debiao, Wang Jinyan

(School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Aiming at the shortcomings of the OFDM system existing high peak average power ratio (PAPR) and traditional selective mapping (SLM) having high complexity and unable to avoid completely the appearance of peak signal, proposes a new SLM-C combination algorithm based on the SLM algorithm and clipping algorithms to reduce PAPR. The Matlab simulation results show that the proposed method can effectively reduce the PAPR of OFDM system, has low complexity and is easy to achieve.

Keywords: orthogonal frequency division multiplexing (OFDM); SLM; PAPR; complementary cumulative distribution function (CCDF)

0 引言

正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)是一种多载波传输技术方案。OFDM技术因具有频带利用率高、抗多径效应等优点而被广泛地应用于通信系统中。目前, 在有线和无线接入标准中, OFDM已被作为核心技术, 应用于IEEE802.11a, ADSL以及欧洲数字音频广播(digital audio broadcasting, DAB)和数字视频广播(digital video broadcast, DVB)等系统中。然而, OFDM系统尚不够完善, 还存在着一定的缺陷, 其主要缺点

是峰值平均功率比(peak to average power ratio, PAPR)过高^[1], 这一问题直接影响着整个频分复用系统的运行成本和运行效率。这是因为: 若OFDM系统具有较大的峰值, 则信号峰值进入放大器的非线性区域时, 会破坏放大器的线性特性, 使得该信号产生畸变, 从而造成子载波间的互调干扰, 并且会破坏子载波间的正交性, 降低OFDM系统的传输性能。因此, 采用合适的技术降低PAPR对OFDM系统的影响很重要。

目前, 不少国内外学者针对上述问题做了大量的研究, 提出了很多的解决方案^[2-7]。根据各解决方

收稿日期: 2011-07-23

作者简介: 张洪波(1987-), 男, 河南驻马店人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为计算机与通信技术,

E-mail: 312023896@qq.com

的特性,可将它们分为如下3类:第一类是基于信号预畸变技术的限幅、峰值加窗和峰值消除方法。该方法就是线性地处理峰值功率附近的信号幅度,从而降低峰值的功率。第二类是基于信号扰码技术的选择映射法(selective mapping, SLM)和部分发送序列法(partial transmit sequence, PTS)。该方法的基本思想是通过引入一定的冗余度来降低大峰值出现的概率。第三类是基于信号编码技术的循环编码方法。由于信号扰码技术并不是降低 PAPR 的值,而是降低 PAPR 出现的概率,因此,该方法不能完全避免系统中高峰值信号的出现^[6]。为此,本课题组将 SLM 方法和预畸变技术中的限幅算法结合,提出了一种新的 SLM-C 联合算法,并通过仿真分析验证了该联合方案的有效性。

1 OFDM 系统的峰均比定义

在 OFDM 系统中, N 个子载波信号 X_n 被一系列相互正交的调制信号 $e^{j2\pi f_n t}$ 调制, 其中 $n=0, 1, 2, \dots, N-1$, $f_n=n\Delta f=n/NT$, T 是原始 OFDM 信号的符号间隔。通常情况下, 系统的输出信号可定义如下:

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{j2\pi f_n t}, \quad 0 \leq t \leq NT. \quad (1)$$

OFDM 信号的 PAPR 简称峰均比, 是指信号的最大峰值功率与平均功率的比值, 一般定义为

$$\text{PAPR}(x(t)) = 10 \lg \frac{\max_{0 \leq t \leq NT} |x(t)|^2}{E[|x(t)|^2]}. \quad (2)$$

当 N 个子信号都以相同的相位求和时, 所得到的信号峰值功率值将是平均功率的 N 倍, 此时的峰均比可以表示为: $\text{PAPR}(x(t))=10 \lg N$, 从这一表达式中可以看出: 随着子信道数 N 的增加, PAPR 的最大值也会线性增大。

2 传统 SLM 算法和限幅算法原理

2.1 传统 SLM 算法

传统 SLM 算法^[8]的原理图如图 1 所示。

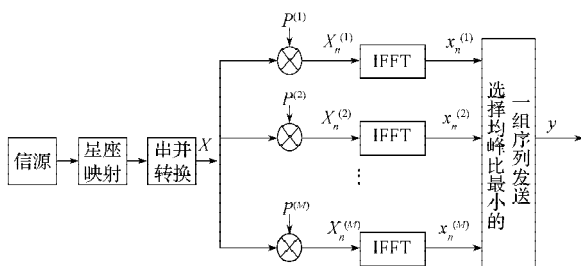


图1 选择性映射原理图

Fig. 1 Principle of the SLM method

传统 SLM 算法的基本思想是: 将 M 个相位序列矢量与 OFDM 系统发射机内的信号进行点乘, 形成 M 个含有相同信息, 但又相互独立的 OFDM 符号, 然后选择使时域信号有最小 PAPR 的符号进行信号传输。这 M 个 OFDM 符号可通过 M 个长度为 N 的随机序列对同一信息序列加权得到。

假设 PAPR 的门限值为 Z , 则可定义原始 OFDM 符号的 PAPR 超过门限值的概率为:

$$P_z = 1 - (1 - e^{-z})^N, \quad (3)$$

式(3)中: P_z 称作互补累积分布函数(complementary cumulative distribution function, CCDF)。

则 SLM 形成的 M 个具有相同信息且相互独立的 OFDM 符号超过门限值 Z 的概率变为 $(P_z)^M$, 即满足

$$P_{\text{SLM}} = [1 - (1 - e^{-z})^N]^M. \quad (4)$$

从式(4)可以看出: 当 $M=1$ 时, 式(4)表示的是原始 OFDM 符号 PAPR 大于门限值的概率, 也即是表达式(3)。

由于 $1 - (1 - e^{-z})^N$ 的取值范围介于 0 和 1 之间。所以当 M 为大于 1 的正整数时, $1 - (1 - e^{-z})^N$ 的 M 次方必然比原始值小得多, 因此, SLM 算法可以优先降低大 PAPR 出现的概率。但是, SLM 算法中, 计算的复杂度会随着 M 值的增加而变大。若相位矢量个数为 M , 则 IFFT 需要多运算 $M-1$ 次; 在发送端被选择传输的相位矢量也要作为边带信息一起发送, 则需要多发送 $\log_2(M)$ 个比特信息, 所以 SLM 算法会随着 M 的增大增加系统实现的复杂度。

2.2 限幅算法

限幅算法由于不需发送额外的边带信息, 使得 OFDM 系统在实现时具有低复杂度的特性。其基本思想是: 对经过 IFFT 运算之后的时域信号进行限幅操作, 使得大于门限值的信号幅度等于门限幅度, 同时保持相位不变, 而小于门限值的信号幅度和相位都不变。其表达式为:

$$x_{\text{clip}} = \begin{cases} x, & x \leq A; \\ Ae^{j\theta_k}, & x > A. \end{cases} \quad (5)$$

已有研究成果^[2]表明, 限幅算法具有低复杂度、实现简单的特性, 但是它只能应用于信噪比较低的 OFDM 系统中; 而传统的 SLM 算法可以应用于任何 OFDM 系统中, 但是该算法具有实现复杂度高和不能完全避免系统中高峰值信号出现的缺点。由以上分析可得, SLM 算法和限幅算法在功能上具有互补性, 所以若将两者有机地联合起来, 可以相互弥补

彼此的不足之处, 发挥各自的优势。可以预见, 若将这两种算法有机结合, 能得到复杂度低而抑制效果良好的高峰均比算法。

3 SLM-C 联合算法

基于传统 SLM 算法和限幅算法优势分析, 本课题组成员构造了一种 SLM-C 联合算法, 该算法的基本思路是: 先使用传统的 SLM 算法对 OFDM 信号进行处理, 处理后的信号在一定程度上降低了高 PAPR 出现的概率, 但是这种算法不能完全避免系统中高峰值的出现, 因此会增加系统的误码率。故使用限幅算法对处理过的信号做进一步的处理, 即对经过 IFFT 变换后的 OFDM 信号做时域限幅处理, 这一处理能在一定程度上避免 SLM 算法不能完全避免系统中峰值出现的缺点, 使得系统更加稳定, 减少系统的误码率, 提高了系统的性能。

根据 SLM-C 算法的基本思路, 可得出改进后的算法系统模型, 如图 2 所示。

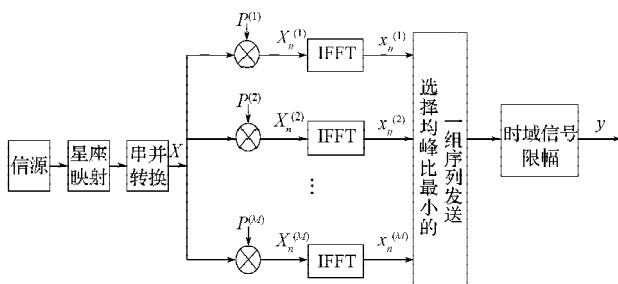


图 2 SLM-C 算法系统模型

Fig. 2 The system model for SLM-C algorithm

4 仿真结果与分析

为了验证本文提出的 SLM-C 联合算法的有效性, 笔者采用 MATLAB 对该算法降低 OFDM 系统性能进行了仿真分析。其中, OFDM 信号采用 16QAM 调制方式, 子载波数为 128, 随机序列个数 M 为 4 和 8, 随机加性高斯白噪声信道, 仿真 1 000 个独立随机 OFDM 符号。

基于以上参数的设计和选择, 可得到传统 SLM 算法和 SLM-C 联合算法的 CCDF 仿真性能曲线, 如图 3 所示。其中 SLM-C 联合算法中的限幅率为 3.5, 随机序列个数 M 为 4。

由图 3 可以看出, SLM-C 联合算法与不使用算法处理的原始信号和 M 分别为 4, 8 的传统 SLM 算法相比, 本文中的联合算法具有较大的优势, 尤其是在 PAPR 大于 6 dB 时, SLM-C 联合算法在性能上有

了较大的提高, 其具体表现为: 在 PAPR 大于 6.5 dB 时, 该算法对均峰比的抑制效果超过了 M 为 8 的传统的高复杂度算法。

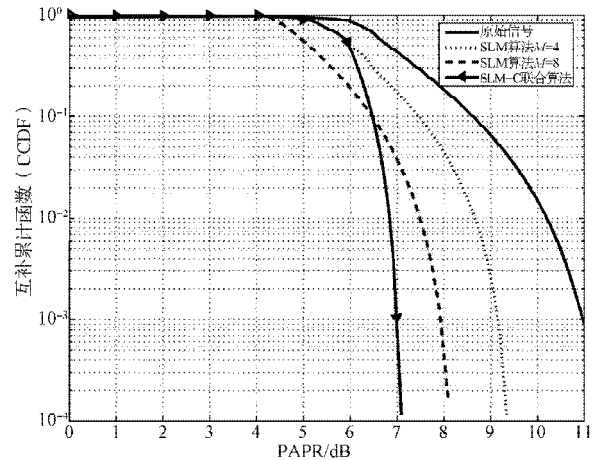


图 3 SLM-C 联合算法 CCDF 性能曲线仿真图

Fig. 3 The simulation diagram of CCDF performance curve for SLM-C algorithm

图 4 为 OFDM 系统中 SLM-C 联合算法误码率性能仿真曲线图, 其中算法中的限幅率为 3.5, 随机序列个数 M 为 4。

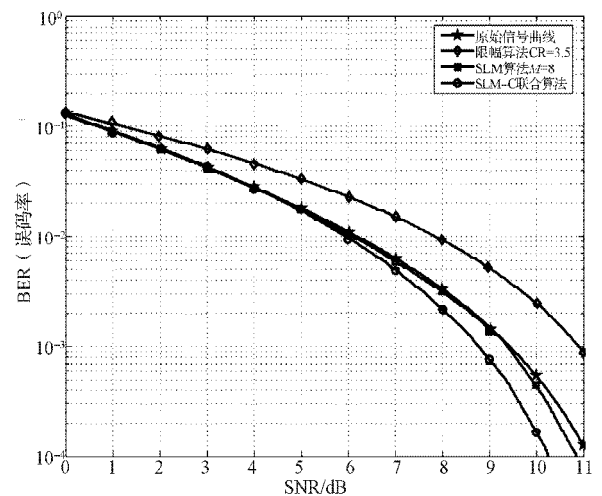


图 4 SLM-C 联合算法误码率性能曲线仿真图

Fig. 4 The simulation diagram of BER performance curve for SLM-C algorithm

从图 4 中可以看出, 与限幅算法 (限幅为 3.5) 相比, SLM-C 联合算法具有较明显的优势。从图 4 中的各曲线可以看出, 在任何信噪比情况下, 联合算法误码率都要远低于限幅算法的误码率, 且基本和 $M=8$ 的传统 SLM 算法误码率接近, 而此时 SLM-C 联合算法的随机序列个数 M 只需取 4, 甚至在 SNR (signal to noise ratio) 大于 7 dB 时, 联合算法的误码率还要略小于原始信号和 SLM 算法。这一结果表明, 联合算法在一定程度上克服了限幅算法适应于低

SNR 的缺点。

同样, 我们可以通过分析图 3 和图 4 得出: 在 OFDM 系统中, SLM-C 联合算法可以降低系统实现的复杂度。这是因为, 对于传统的 SLM 算法, 其复杂度随着 M 值的增加而增大, 而联合算法可以通过降低 M 的值来实现与传统 SLM 算法相同的性能。可见, 仿真结果和理论分析相吻合, 也即验证了本联合算法的有效性。

5 结语

从前面的理论分析和仿真结果可以看出, SLM-C 联合算法通过选用传统 SLM 算法自身使用范围广和系统误码率低的优点, 克服了限幅算法只能适用于低 SNR 的环境和具较高系统误码率的缺点; 同时, 利用限幅算法具有实现简单、复杂度低的优点, 克服了传统 SLM 算法随着 M 值的增加, 实现复杂度增大的缺点。这样, SLM-C 联合算法弥补了单独使用两种算法的不足, 发挥了两种算法的优势, 使得 OFDM 系统在降低复杂度的同时又不会增加系统的误码率。因此, 该方法不失为解决 OFDM 系统均峰比问题的一条有效途径。

参考文献:

- [1] 郑 棣, 郭振民. 关于降低 OFDM 系统中峰均功率比技术的研究[J]. 现代电子技术, 2005(23): 10-13.
Zheng Di, Guo Zhenmin. Research on the Techniques of Reduction PAPR in OFDM System[J]. Modern Electronic Technique, 2005(23): 10-13.
- [2] Ochiai H, Imai H. Performance Analysis of Deliberately Clipped OFDM Signals[J]. IEEE Transaction on Communications, 2002, 50(1): 89-101.
- [3] Wang T J. Reduction of the PAPR in OFDM Signals by Applying PTS Mechanism[D]. Taipei: Institute of Communication Engineering, Tatung University, 2004.
- [4] Han Seung Hee, Jae Hong Lee. An Overview of Peak-to-Average Power Ratio Reduction Techniques for Multicarrier Transmission[J]. IEEE Wireless Communications, 2005, 12(2): 56-65.
- [5] 赵 霏, 毕见鑫, 易克初, 等. 减小子波包调制波形功率比值的方法[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2001, 28(6): 703-706.
Zhao Fei, Bi Jianxin, Yi Kechu, et al. A New Method of Reducing PAPR of Wavelet Packet Modulation Signals[J]. Journal of Xidian University: Natural Science, 2001, 28(6): 703-706.
- [6] 周 克, 宋荣方. 一种降低 OFDM 系统峰均比新方法[J]. 微计算机信息, 2009(3): 194-195, 205.
Zhou Ke, Song Rongfang. A New Method for Reducing PAPR in OFDM System[J]. Microcomputer Information, 2009 (3): 194-195, 205.
- [7] 杜 喆, 李瑞德, 姜宪国, 等. 一种降低 OFDM 系统峰均比的新方法[J]. 自动化技术与应用, 2010, 29(9): 44-46.
Du Zhe, Li Ruide, Jiang Xianguo, et al. A New Method for Reducing PAPR in OFDM System[J]. Techniques of Automation and Applications, 2010, 29(9): 44-46.
- [8] Bauml R W, Fisher R F H. Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of Multicarrier Modulation by Selected Mapping[J]. Electronics Letters, 1996, 32(22): 2056-2057.

(责任编辑: 廖友媛)